

生物指標からみた平成19年（2007年） 能登半島地震における海岸隆起

Tectonic Uplifting by the Noto Hanto Earthquake in 2007
Estimated from the Height Distribution of the Marine Livings

山本 博文*
奥山 大嗣*
江戸 慎吾*
(福井大学教育地域科学部地学教室)

1. はじめに

平成19年（2007年）3月25日9時41分、能登半島西方を震源とする地震（平成19年（2007年）能登半島地震）が発生した。気象庁（2007a）によれば、震源は北緯 $37^{\circ} 13.2'$ 、東経 $136^{\circ} 41.1'$ 、深さ11km、マグニチュードは6.9であり、七尾市田鶴浜町、輪島市鳳至町、輪島市門前町走出、穴水町大町では震度6強を、奥能登地方を中心に広い範囲で震度6弱を記録した。また石川県の沿岸では微弱な津波も観測され、珠洲市長橋では最も高い22cmを記録した。この地震による被害は、消防庁（2007）によれば、人的被害では死者1名（石川県輪島市）、重軽傷者は359名（石川県内は341名）、住家被害では全壊638棟、半壊1,563棟（いずれも石川県内）等であった（平成19年6月14日現在）。

この地震の発震機構は、東南東－西北西に圧縮軸を持ち、横ずれ成分を含む逆断層型を示している（平松, 2007；気象庁, 2007a など）。余震の震源は北東－南西方向に連なり、鉛直断面を見ると南東に傾斜する面状の分布を示している（平松, 2007など）。GPS 観測結果によると、志賀町富来観測点が南西方向へ約21cmの移動と約6cmの隆起、穴水観測点が西北西方向へ約12cmの移動と約2cmの沈降を示すなど奥能登地方を中心に地殻変動が観測され、北東－南西走向、南東傾斜の断層面を持ち、右横ずれ成分をとまなう逆断層が震源断層のモデルとして推定されている（国土地理院, 2007など）。

震源域周辺海域の地質構造探査としては、北陸電力による能登半島西方海域の音波探査（片川ほか, 2005）や旧地質調査所による海底地質調査（岡村, 2007a）がある。片川ほか（2005）によれば、能登半島地震の余震域付近には北東－南西方向に延びる長さ約20kmの逆断層（F14およびF15断層：図1）が示されている。これらの活断層は南東に傾斜する高角の逆断層であり、余震域の北西縁に位置し、余震分布や震源メカニズム解から得られる断層面の傾斜と調和的であることから、今回の地震に関連した可能性が指摘されている（平松, 2007；岡村, 2007b など）。

今回の地震では、震源が能登半島西岸近傍に位置し、深さが11kmと浅く、地震のマグニチュードが6.9と比較的大きいことから、半島西岸域での地殻変動（隆起・沈降）が予測された。そこで筆者らは地震直後の3月27日、4月3日と現地に入り、被害状況を調査するとともに、海岸部での地殻変動量について予備調査を行った。その結果、震源域周辺で波食棚が離水していること、また港の岸壁に付着しているカキの上限高度が、震源域から離れた地点のものと比べ明らかに高いことから、最大で40cm程度の隆起を推定した。そこで海岸部における隆起・沈降量をより正確に求めるため、波の影響を取り除くための簡易な測定装置を作成し、4月7～8日、23～24日と海面とカキ等の生物指標との比高を測定した。さらに6月28日には、これまで立ち入りが制限されていた門前町深見地区に入

キーワード：平成19年（2007年）能登半島地震、生物指標、地殻変動、カキ、セッカイソウ

*Hirofumi Yamamoto, Hiroshi Okuyama and Shingo Edo
(Geological Lab., Faculty of Education and Regional Studies, University of Fukui, Bunkyo 3-9-1, Fukui, 910-8507 Japan)

り、測定を行った。

本報告は今回の能登半島地震に伴う海岸部での隆起・沈降量をより正確に測定するための手法について述べるとともに、求めた変位量を国土地理院が地震後実施した水準測量結果と比べ、その有効性について考察した。また生物指標から求めた隆起・沈降量と地震を引き起こした震源断層との関連について推察した。

2. 震源域周辺の地形・地質

能登半島は石川県の北半部を占める日本海側最大の半島である。石川・富山県境をなす宝達丘陵^{ほうだつ}を基部として北に突出し、南北約100km、東西は約50kmに及ぶ。

能登半島は輪島南東の高洲山(567m)、鉢伏山(544m)を中心とするおおむね標高400m以下の丘陵性の小起伏山地からなり、半島南部には丘陵地を断ち切るように邑知潟地溝帯が北東―南西方向に延びている。太田・平川(1979)は丘陵性山地から海岸部に広く分布する海成段丘を高位からT、H、M、Lの4群に大別し、さらにTは7段、Hは4段、Mは3段に細分し、能登半島の大部分が更新世中期以降の隆起によって形成されたことを明らかにした。

震源域周辺の海成段丘については、太田・平川(1979)、小池・町田(2001)にまとめられている。その中でも分布が広く形成年代が明らかなM1段丘(ステージ5e)の旧汀線高度は、震源域北東の輪島周辺では49～52mであるが、東側に向かって徐々に高くなり、白崎付近では88～99mとなっている。輪島から門前にかけての海岸部では51～220mに旧汀線高度を持つ段丘が記されているが、どの段丘に対比できるのか明らかになっていない。門前から富来にかけてのM1段丘の旧汀線高度は、北側では40～52mであるが、南側に徐々に低くなり、富来付近では約20mとなっている。富来から志賀^{はくがい}にかけても同様に北側で44～45m、南側で20m前後と南に徐々に低くなっている。志賀から羽咋^{はくさい}にかけても北側で40～41m、南側で25mと南に徐々に低くなっている。以上のような段丘面高度分布から、太田・平川(1979)は能登半島が一辺10～20kmの南下がりの傾動を示す小地塊に分かれており、傾動運動はM1面形成後に活発になったと推定している。

また能登半島は、鮎野(1993)によればそのほとんどが第三系火山岩類・堆積岩類によって構成されており、第三系の基盤岩をなす飛騨変成岩類およびこれに貫入した花崗岩類は、能登半島南部を中心にごく限られた範囲に露出するに過ぎない。また第四系は海成段丘堆積物として、また沖積層として海岸部を中心に分布しているのみである。

震源域周辺では基盤岩をなす飛騨片麻岩類が志賀町鹿頭やその東側の大福寺周辺に、また船津花崗岩類が門前町^{つるぎし}剣地の東に僅かに露出している。これを不整合に覆う第三系は、門前南から志賀付近にかけて前期中新世の火山岩類が、またその北側の門前から輪島にかけて、および南側の志賀から羽咋にかけては前・中期中新世の堆積岩類が分布している(鮎野, 1993)。

3. 能登半島周辺の活断層

能登半島南部には丘陵地を断ち切るように邑知潟断層帯が南西―北東方向に延び、明瞭な地溝(邑知潟地溝帯)を形成している(図1: 太田ほか, 1976; 活断層研究会, 1991)。能登半島にはこのほかにも幾つかの活断層が分布しているが、その長さは数km程度と短く、邑知潟断層帯をふくめ、その活動度はB～C級とあまり高くない(活断層研究会, 1991)。

能登半島西側の海域では、片川ほか(2005)により傾動地塊を区切る断層群が報告されている。片川ほかによれば、F14、F15、F16断層は雁行状に配列し(図1)、それぞれ長さ10km程、南東側隆起の高角逆断層であり、最も東側(陸側)のF14断層は、A層(完新統)下部まで変位を与えている。海岸近くは調査範囲外となっているため、F14断層が陸域まで達しているかどうか不明であるが、この断層を陸側にまっすぐ伸ばすと、輪島市門前町^{かいて}鹿磯付近に到達する(図1, 2)。F14断層の陸側延長部には活断層は報告されていないが、20万分の1地質図(産業技術総合研究所地質調査総合センター(編), 2005)には、新第三系を切る地質断層がF14断層の北東延長部に記されている。



図1．能登半島周辺の活断層，能登半島地震の震央および調査範囲．活断層は活断層研究会編（1992），能登半島西側海域については片川ほか（2005）に基づく．なお図中の枠は図2の範囲を示す．

4. 隆起・沈降量の測定方法

海岸部における地震隆起・沈降量を求めるための生物指標として，潮間帯付近に生息する生物の分布上限高度がしばしば用いられてきた．例えば茅根ほか（1987），西畑ほか（1988）は三浦・房総半島において，ヤッコカンザシ密集帯の上限高度を指標として，1923年大正関東地震，1703年元禄関東地震時の旧汀線高度分布を明らかにしている．また下川ほか（1994）は，1993年北海道南西沖地震に伴う奥尻島の地殻変動量を潮間帯に生息するピリヒバなどのセッカイソウ類，ムラサキインコガイ等を生物指標として明らかにしている．

今回の能登半島地震においても隆起・沈降量を生物指標を用いて測定することを試みた．測定にあたり，変動量をより正確に求めるために，生物指標や測定地点の選択，波の影響の除去，潮汐補正等について検討を行った．

使用する生物指標としては，広範囲に分布していること，指標となる高度が明瞭に読み取れること，地震後，しばらくはそのまま残っていること（移動しないこと，剥落しないこと）が不可欠である．また海面からの比高の測定が容易であることも重要な要素である．今回の能登半島での調査では，主に港内の岸壁に付着しているカキの上限を指標として用いた．カキは港内の岸壁にびっしり付着していることが多く，上限が良く揃っており，かつ地震後3ヶ月後でも剥落せずよく残っていた（写真1，2）．またカキは一般に付着生活に入ってから以降は移動することはないとされており，岸壁では海面からの比高の測定も容易である．

岸壁に付着したカキの上限をより正確に求めるため，港内でもカキがより密集し，かつ港外からの波の影響の少ない岸壁を測定点として選択した．カキが密集して付着している岸壁ではカキの上限が水平に良く揃っているが，付着が少なくなってくると，その上限を読み取ることが次第に困難となり，上限をやや低く見積もる可能性がある．そこで今回の測定では，カキの付着状態をやや離れた地点から写真撮影し，幅2～3mの範囲で付着上限を読み取ることにより，カキの密集状態による上限読み取りへの影響を少なくした．また港の奥の波の穏やかな岸壁と，港外からの波が頻繁に当たる岸壁を比べると，後者の方が明らかに高い位置までカキが付着していた（写真5－7）．そこで測定点として港内でも港外からの波が頻繁に当たる地点は避け，常に波の穏やかな岸壁で測定を行った．

沈降域ではカキが海面上に顔を出していないことも多く、写真撮影による広範囲でのカキ付着上限の読み取りができないことがある。このような地点では、より正確にカキの上限高度を求めるため、測定回数を増やしたが、精度は上限を海面上で確認できる場合に比べやや落ちるとされる。また港の岸壁には付着上限がよく揃ったムラサキイガイも認められたが（写真8）、その分布は限られていた。

カキが付着した岸壁が強い地震動により変形し、沈み込んでいる箇所も震源域付近を中心にしばしば認められた（写真9）。このような地点では、カキの付着上限から隆起量を求めることはできない。岸壁の変形は、比較的新しい砂浜海岸に設置された港で特に顕著であった。そこで今回の測定では、砂浜海岸に設置されている港は避け、岩石海岸域に設置されている比較的規模の小さな港のうち、目視で岸壁等の変形がほとんど無いと考えられる所で測定を行った。さらにできるだけ港内の複数箇所で測定を行い、その値がほぼそろっていることを確認した。

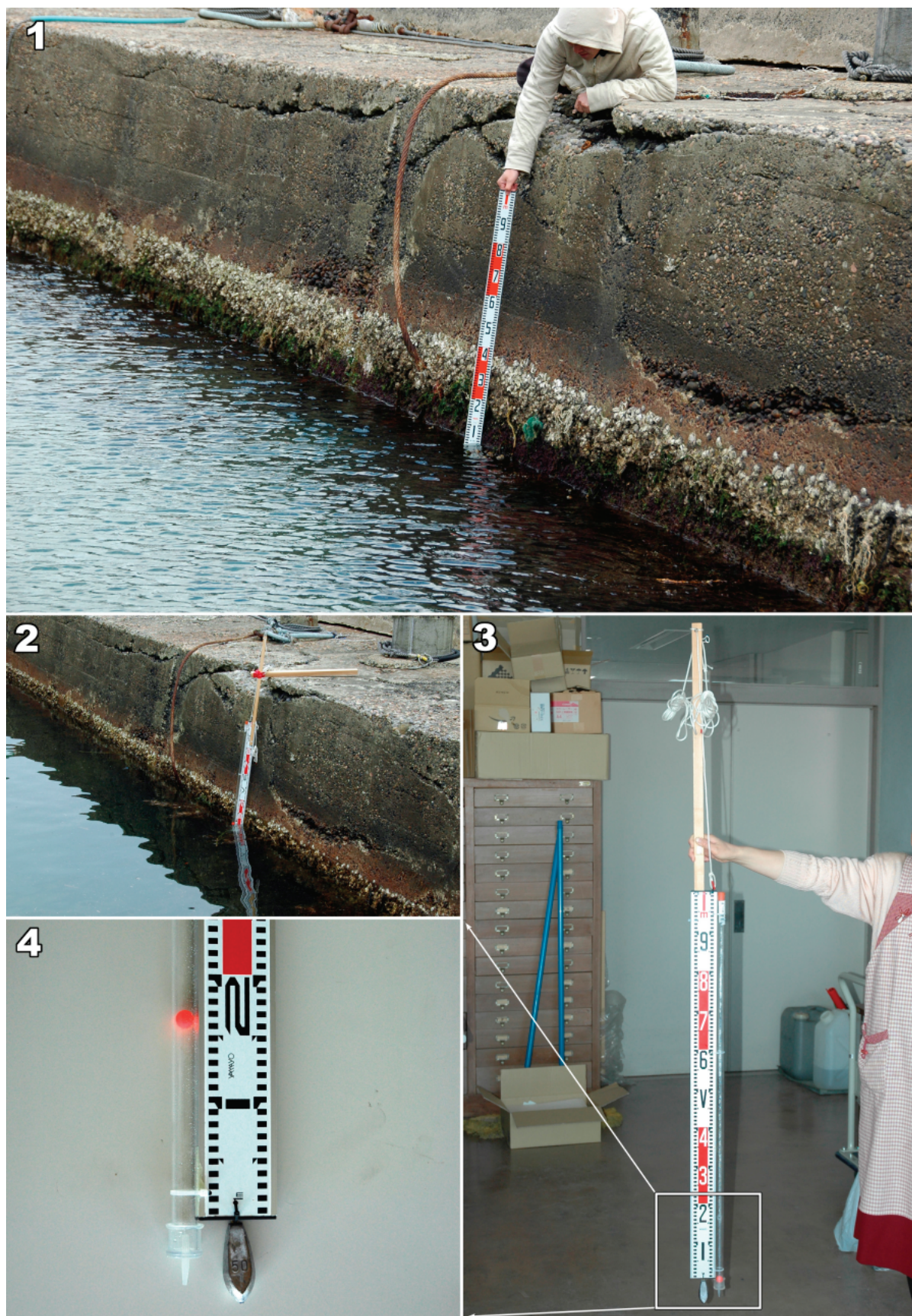
カキは港内の岸壁には多数付着していたが、岩石海岸ではほとんど見出すことができなかった。岩石海岸では海面付近の幅30～40cm程の帯状に付着しているセッカイソウが比較的明瞭であり（写真10, 11）、この上限を指標として用いることを検討した。しかし岩石海岸は港内に比べはるかに波の影響を受けやすく、特に、波の駆け上がりが起こる岩場では、セッカイソウが周囲の岩礁より明らかに高い位置まで付着していた。セッカイソウを指標として測定できた地点は、波の影響の少ない小さな入江の中で、しかも海面からの比高の測定が容易な切り立った岩場のみであった。またセッカイソウの上限はカキほど明瞭ではなく（写真11）、今回は補助的な指標として用いるにとどめた。

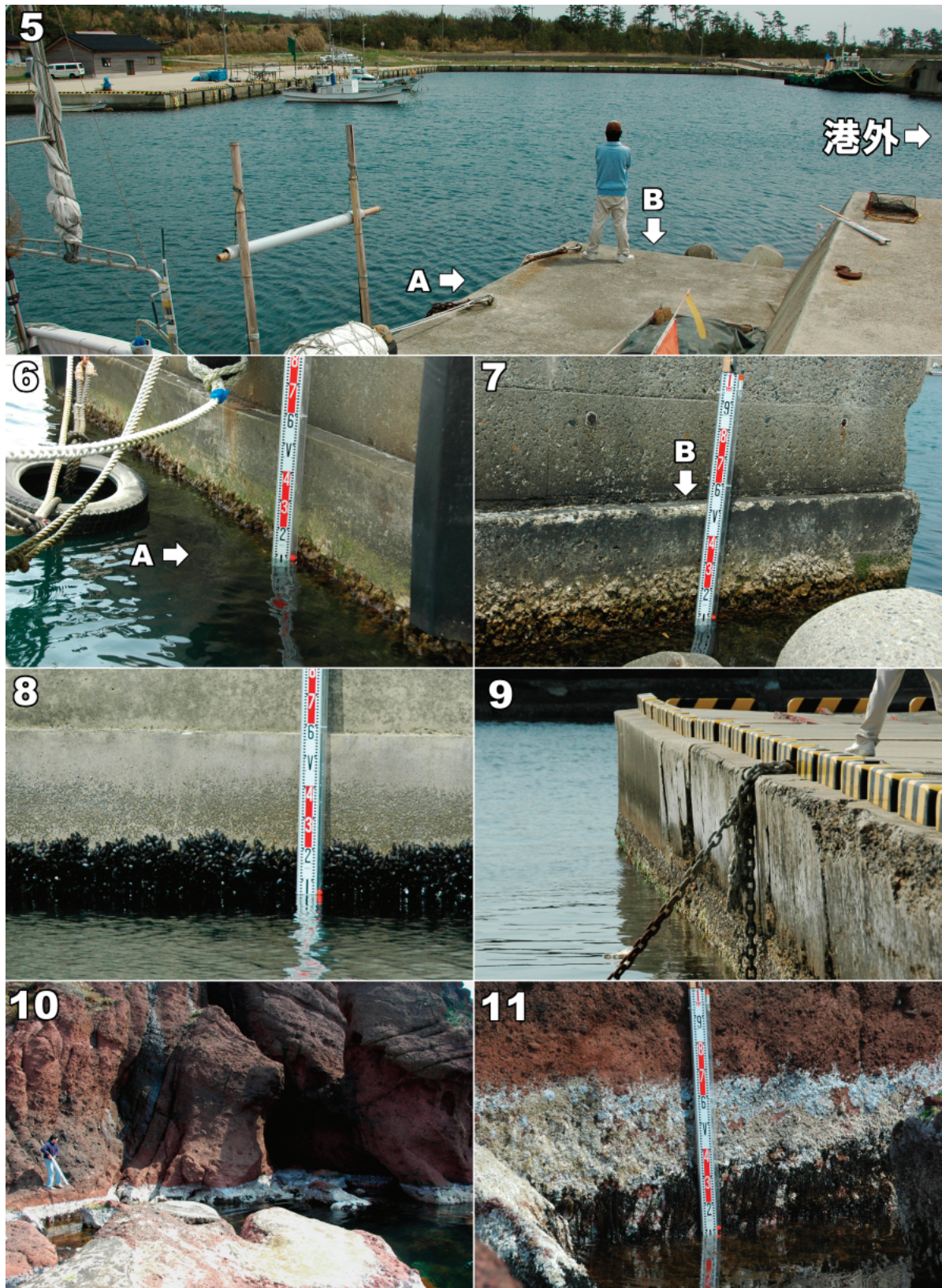
付着していた生物指標の高さは、海面からの比高として読み取った。しかし海面は常に波打っており、より正確な測定のためには、波の変動を取り除いた海面の位置を正確に求める必要がある。そこで測定日として波の静かな日を選び、測定場所としてより波の穏やかな港内で行った。しかしそれでも数～10数cm程度の波による海面の変動が認められた。そこで海面位置をより正確に読み取るため、“簡易海面測定装置”を作成した。この装置は標尺に内径18mmの透明アクリルパイプを取り付けたものである（写真3）。アクリルパイプの底を内径2mmのパイプを取り付けたゴムキャップで塞ぎ、そこから海水が出入りできるようにした。また海面位置を読み取りやすくするため、径15mmの蛍光色の丸いウキを挿入した（写真4）。この装置により、海面の高さを±1cm程度で読み取ることが可能となった。

海面の高さは時間とともに変化してゆく。能登半島周辺での潮位変化は、大潮差でも約0.2mと比較的少ないが、隆起量を求めるためにはその変化を補正する必要がある。各地点・各時刻の潮汐推算値は海上保安庁等によって公表されているが、実際の潮位は風や気圧等の気象条件によっても変化する。調査地域内にある験潮所としては、国土地理院が計測している輪島験潮場が震央の北東約30kmにある。今回の調査では、潮位補正は調査地域北端の輪島験潮場で計測された潮位変化を用い、これに調査地域南端に近い滝港^{たき}での潮汐推算値と輪島港の推算値との差を、輪島港から計測地点までの距離により案分し、加えることによって行った。測定時間内における両港の推算値の差は最大でも3cmであった。

また生物指標の他に、離水波食棚による隆起量の測定も試みたが、生物指標より精度のよい測定はできなかった。

〔次頁〕写真1：輪島市門前町鹿磯の小さな漁港（鹿磯（18））の岸壁に付着していたカキ。写真は4月3日に撮影したもの。この地点は+19～+24cmの隆起。2：6月28日に撮影した写真1と同一地点の様子。地震後3ヶ月が経っているが、まだカキの殻が明瞭に残っている。3：生物指標の海面からの比高測定に使用した“簡易海面測定装置”。4：“簡易海面測定装置”の先端部分。





5. 隆起・沈降量の測定結果

今回の調査では、震央の南約30kmに位置する羽咋市^{しばがき}柴垣町^{ながて}長手島の柴垣漁港（長手島(1)：測定地点名、カッコ内の数字は地点番号を示す）を不動点とした。この地点は能登半島地震の余震域から南東に約20km離れており、今回の地震による地殻変動の影響をほとんど受けていないと推定される。また4月12日に公開された「だいち」の合成開口レーダーによる解析結果（国土地理院，2007）でも明瞭な地殻変動域の外であることは明らかであり、7月11日に公表された能登半島地震に伴う水準測量結果（速報値）（国土地理院，2007）を見てもほとんど上下変動は認められない地点である。

測定は港内岸壁に“簡易海面測定装置”を固定し、海面とカキ付着上限との比高を測定することによって行った。隆起・沈降量は、測定値に潮位変化補正値を加え、基準点である長手島(1)のカキの付着上限の高さ（標高）と比べることにより求めた。

今回の測定結果を表1に示す。測定は波の静かな4月7～8日、23～24日および6月28日の5日間にわたって行った。いずれの日も港外の波高は1m以下、港内の波高は15cm以下であった。この手法による測定精度を確かめるため、基準点である長手島(1)では4月7日、23日、24日および6月28日の4回、測定を行った。このうち6月28日の測定時には潮位がやや高く、カキの付着上限は海面より下であった。4回の測定の結果、海面からの比高により求められたカキの付着上限高度は、いずれも標高24～30cmの範囲に収まっていた。同様に鹿磯(18)においても4月8日、23日および6月28日の3回測定した（いずれの日もカキの付着上限は海面より上）。3回の測定の結果、カキの付着の上限は標高46～51cmの範囲に収まった。以上の2地点での測定結果からすると、カキの付着上限を用いた今回の手法による測定誤差は±3cm程度と考えられる。

今回の隆起・沈降量の測定点は、南の長手島(1)から、北の輪島市輪島崎町にある輪島港（輪島(23)）までの南北約50km、23地点である（表1、図2）。指標としてはカキ、ムラサキイガイ、セッカイソウの付着上限を用いた。このうちカキは深見南（19）を除く22地点、ムラサキイガイは上野(4)、福浦(7)の2地点、セッカイソウは千浦(11)、前波(13)、赤神(16)、深見南（19）の4地点で測定を行った。港内の岸壁に付着していたムラサキイガイの付着上限高度はカキの高度とほぼ同じであったが、岩場で測定したセッカイソウの高度は近傍にある港内岸壁のカキの付着上限よりでは明らかに高い値を示した。そこで近傍にカキの港内測定値のない深見南(19)を除く3地点で、カキとセッカイソウの上限を比べたところ、セッカイソウ上限はカキより平均で13cm高く、この値を用いて隆起・沈降量を算出した。

生物指標から求めた隆起・沈降量を図2、3に示す。南端の長手島(1)から赤住(6)まではほとんど変位は認められなかったが、赤住(6)の北、志賀町福浦港（福浦(7)）では+3～+4cmの、富来(7)の七海の漁港（七海(8)）からその北西の千浦(11)では+4～+7cmの隆起となった（隆起に対しては“+”

〔前頁〕写真5：赤住漁港（赤住(6)）。写真右手が港外となる。港外からの波はB地点にはよく当たるが、A地点には直接当たらない。6：A地点のカキの付着状況。港の奥のカキ付着上限は、A地点の高さとほぼ同じであった。7：B地点のカキの付着状況。明らかにA地点より高い所まで付着している。8：上野(4)におけるムラサキイガイの付着状況。付着上限高度はカキとほぼ同じであった。9：黒島(17)における岸壁の変形と沈降。カキの付着上限も岸壁先端部では明瞭に低下している。10：赤神(16)におけるセッカイソウ。この地点での隆起量は+35～+39cm。11：セッカイソウの近接写真。上限はカキに比べやや不明瞭である。

〔次頁〕表1.生物指標により測定された能登半島地震に伴う隆起・沈降量。地点名に*印が付いた測定は、指標が海面下に位置していたものを示す。海面高は輪島験潮所の観測値および輪島港一滝港の潮位推算値の差から海面標高を求め、これを基準に指標（カキの付着上限）の高さ（標高）を求めた。隆起・沈降量は、不動点とした長手島(1)における指標の高さの平均値（27cm）と比べることにより求めた。

(表1)

地点番号	地点名	測定月日	時間	補正潮位 (標高, cm)	港内波高 (cm)	上端基準	上端位置 (cm)	上端標高 (cm)	隆起量 (cm)
1	長手島	4月7日	9:43	4	5	カキ	23	27	0
1	長手島	4月7日	9:45	4	5	カキ	24	28	1
1	長手島	4月7日	9:48	4	5	カキ	22	26	-1
1	長手島	4月7日	9:51	5	5	カキ	25	30	3
1	長手島	4月7日	9:52	5	5	カキ	24	29	2
1	長手島	4月7日	9:57	5	5	カキ	22	27	0
1	長手島	4月23日	11:24	22	10-15	カキ	4	26	-1
1	長手島	4月23日	11:30	21	10-15	カキ	3	24	-3
1	長手島	4月24日	8:00	6	5	カキ	19	25	-2
1	長手島	4月24日	8:05	6	5	カキ	22	28	1
1	*長手島	6月28日	10:20	32	5	カキ	-5	27	0
1	*長手島	6月28日	10:20	32	5	カキ	-7	25	-2
1	*長手島	6月28日	10:20	32	5	カキ	-5	27	0
1	*長手島	6月28日	10:20	32	5	カキ	-7	25	-2
2	大島	4月7日	10:21	6	2-3	カキ	22	28	1
2	大島	4月7日	10:24	6	2-3	カキ	24	30	3
2	大島	4月8日	15:38	25	2-3	カキ	6	31	4
3	弁天島	4月8日	15:16	22	5	カキ	5	27	0
3	弁天島	4月24日	8:29	5	5	カキ	26	31	4
3	弁天島	4月24日	8:29	5	5	カキ	24	29	2
3	*弁天島	6月28日	10:40	34	2-3	カキ	-3	31	4
3	*弁天島	6月28日	11:40	34	2-3	カキ	-5	29	2
4	上野	4月7日	11:11	6	5	ムラサキイガイ	19	25	-2
4	上野	4月24日	10:17	9	2-3	カキ	18	27	0
5	大津	4月24日	10:58	9	2-3	カキ	16	25	-2
6	赤住	4月7日	11:26	7	2-3	カキ	22	29	2
6	赤住	4月7日	11:28	7	2-3	カキ	20	27	0
6	赤住	4月7日	11:32	7	2-3	カキ	18	25	-2
6	赤住	4月7日	11:33	7	2-3	カキ	15	22	-5
6	赤住	4月7日	11:34	7	2-3	カキ	12	19	-8
6	赤住	4月24日	12:14	12	5	カキ	14	26	-1
6	赤住	4月24日	12:25	12	5	カキ	12	24	-3
6	赤住	4月24日	12:27	12	5	カキ	11	23	-4
6	赤住	4月24日	12:35	16	2-3	カキ	12	28	1
6	赤住	4月24日	12:48	13	2-3	カキ	13	26	-1
6	赤住	4月24日	12:52	11	2-3	カキ	12	23	-4
7	福浦	4月7日	11:51	7	2-3	ムラサキイガイ	24	31	4
7	福浦	4月7日	11:56	7	2-3	カキ	23	30	3
7	福浦	4月7日	11:58	7	2-3	カキ	24	31	4
8	七海	4月7日	12:59	10	2-3	カキ	21	31	4
9	富来	4月7日	13:13	10	2-3	カキ	22	32	5
10	風無	4月7日	13:51	12	2-3	カキ	22	34	7
10	風無	4月7日	13:56	13	2-3	カキ	19	32	5
11	千浦	4月7日	14:12	13	5	カキ	18	31	4
11	千浦	4月7日	14:21	15	5	セッカイトウ	31	46	6
11	千浦	6月28日	14:30	27	5	セッカイトウ	18	45	5
11	千浦	6月28日	14:30	27	5	セッカイトウ	20	47	7
11	千浦	6月28日	14:30	27	5	セッカイトウ	14	41	1
11	千浦	6月28日	14:30	27	5	セッカイトウ	17	44	4
12	赤崎	4月7日	14:36	13	5	カキ	43	56	29
12	赤崎	4月7日	14:38	13	5	カキ	41	54	27
12	赤崎	4月7日	14:41	13	5	カキ	45	58	31
12	赤崎	4月7日	14:46	14	5	カキ	39	53	26
12	赤崎	4月7日	14:48	15	5	カキ	45	60	33
12	赤崎	4月7日	14:54	14	5	カキ	40	54	27

生物指標からみた平成19年（2007年）能登半島地震における海岸隆起

（表1つづき）

地点 番号	地点名	測定月日	時間	補正潮位 (標高, cm)	港内波高 (cm)	上端基準	上端位置 (cm)	上端標高 (cm)	隆起量 (cm)
13	前波	4月7日	15:33	16	10	セッカイトウ	57	73	33
13	前波	4月7日	16:02	15	5	カキ	40	55	28
13	前波	4月7日	15:50	16	20	セッカイトウ	50	66	26
14	剣地	4月8日	14:11	21	2-3	カキ	40	61	34
14	剣地	4月8日	14:12	21	2-3	カキ	46	67	40
14	剣地	4月8日	14:14	21	2-3	カキ	43	64	37
14	剣地	4月8日	14:17	21	2-3	カキ	39	60	33
15	腰細	4月8日	13:50	19	5	カキ	45	64	37
15	腰細	4月8日	13:53	19	5	カキ	46	65	38
15	腰細	4月8日	13:54	19	5	カキ	46	65	38
16	赤神	4月8日	13:09	18	5	カキ	46	64	37
16	赤神	4月8日	13:12	18	5	カキ	48	66	39
16	赤神	4月8日	13:18	17	5	セッカイトウ	58	75	35
16	赤神	4月8日	13:24	17	5	カキ	49	66	39
16	赤神	4月8日	13:25	17	5	カキ	45	62	35
17	黒島	4月8日	12:28	18	5-10	カキ	37	55	28
17	黒島	4月8日	12:37	18	5-10	カキ	44	62	35
17	黒島	4月8日	12:40	18	5-10	カキ	41	59	32
17	黒島	4月23日	14:36	18	10	カキ	38	56	29
17	黒島	4月23日	14:40	20	10	カキ	34	54	27
17	黒島	4月23日	14:48	18	10	カキ	32	50	23
17	黒島	4月23日	14:51	19	10	カキ	42	61	34
18	鹿磯	4月8日	12:02	17	5-10	カキ	31	48	21
18	鹿磯	4月8日	12:05	17	5-10	カキ	30	47	20
18	鹿磯	4月8日	12:07	17	5-10	カキ	33	50	23
18	鹿磯	4月8日	12:08	17	5-10	カキ	32	49	22
18	鹿磯	4月8日	12:10	17	5-10	カキ	31	48	21
18	鹿磯	4月8日	12:11	17	5-10	カキ	31	48	21
18	鹿磯	4月23日	14:17	20	10	カキ	26	46	19
18	鹿磯	4月23日	14:20	20	10	カキ	27	47	20
18	鹿磯	4月23日	14:21	20	10	カキ	30	50	23
18	鹿磯	4月23日	14:22	20	10	カキ	31	51	24
18	鹿磯	6月28日	13:08	33	2-3	カキ	15	48	21
18	鹿磯	6月28日	13:10	32	2-3	カキ	16	48	21
18	鹿磯	6月28日	13:11	32	2-3	カキ	17	49	22
18	鹿磯	6月28日	13:12	32	2-3	カキ	19	51	24
19	深見南	4月23日	13:54	22	20	セッカイトウ	14	36	-4
20	*深見	6月28日	12:40	35	2-3	カキ	-18	17	-10
20	*深見	6月28日	12:40	35	2-3	カキ	-15	20	-7
20	*深見	6月28日	12:40	35	2-3	カキ	-18	17	-10
20	*深見	6月28日	12:40	35	2-3	カキ	-20	15	-12
20	*深見	6月28日	12:40	35	2-3	カキ	-18	17	-10
20	*深見	6月28日	12:40	35	2-3	カキ	-15	20	-7
20	*深見	6月28日	12:40	35	2-3	カキ	-18	17	-10
20	*深見	6月28日	12:40	35	2-3	カキ	-20	15	-12
20	*深見	6月28日	12:40	35	2-3	カキ	-18	17	-10
21	吉浦	4月8日	11:07	14	5	カキ	4	18	-9
22	皆月	4月8日	10:21	14	5	カキ	11	25	-2
22	皆月	4月8日	10:25	14	5	カキ	12	26	-1
22	皆月	4月8日	10:29	14	5	カキ	13	27	0
23	輪島	4月8日	9:11	15	5	カキ	14	29	2
23	輪島	4月8日	9:14	15	5	カキ	15	30	3
23	輪島	4月8日	9:20	14	5	カキ	14	28	1

を、沈降に対しては“－”を付した、以下同様）。隆起量はその北の赤崎^{あかさき}(12)付近から急激に大きくなり、赤崎(12)から輪島市門前町の黒島^{くろしま}(17)にかけて+23～+40cmの隆起量（剣地(14)では最大の+40cm）が求められた。海域で明らかとなっているF14断層（片川ほか、2005）の陸側延長部付近に位置する輪島市門前町鹿磯の小さな漁港（鹿磯(18)）では隆起量はやや少なくなり、+19～+24cm、その北の深見南(19)では、セツカイソウから－4cmと沈降を示し、深見(20)では－7～－12cmと最大の沈降となった。深見の北、吉浦^{よしうら}(21)でも－9cmと明らかな沈降を示したが、その北東の皆月^{みなづき}(22)では－2～0cm、輪島(23)では+1～+3cmとほとんど変位は認められなかった。

6. 考察

2007年7月11日、能登半島地震に伴う水準測量結果（速報値）が国土地理院より公表された（国土地理院、2007）。水準路線は能登半島西側では主に国道249号線に沿って輪島市輪島崎町にある験潮場から志賀町、羽咋市を通り津幡町まで、半島東側では験潮所から穴水町、七尾市を通り、富山県高岡市まで設置されている。国土地理院では地震後、輪島験潮場から西側の路線では羽咋市まで、東側の路線では七尾市まで水準測量（高精度三次元測量）を行っている。国土地理院（2007）によれば、地震後の測量結果を2001年の値と比べた結果、今回の地震により輪島市門前町黒島から剣地南にかけて明瞭な地殻変動（隆起）があり、輪島市門前町赤神の北で最大の+41cmの隆起となっている（図2）。

今回の国土地理院の水準測量では、輪島験潮所を基準点としている。「だいち」の合成開口レーダーデータの干渉解析結果（国土地理院、2007）によれば、輪島験潮所周辺および七尾市南部・志賀町南端部はほとんど変位していないと推定される。水準測量結果においても、輪島験潮所に対する七尾市南部、志賀町南端部～羽咋市の変位量はほぼ±1cm以内を示している。またGPS連続観測結果（最終解：国土地理院、2007）では、輪島の水平変動は北北東に2cm、上下変動は1cm沈降となっており、何れも輪島験潮所周辺が大きな変位をしていないことを示している。

そこでこの水準測量により明らかとなった隆起・沈降量を、今回、生物指標によりもとめた値と比較した。本研究では、調査地域南端部に位置する長手島(1)を不動点としており、長手島(1)に対する輪島験潮所近くの設定点である輪島(23)の変位量は+1～+3cmの隆起（平均で+2cmの隆起、輪島(23)を不動点とすれば、長手島(1)は－2cmと沈降）となった。水準測量データでは、輪島験潮所の水準点に対し、長手島(1)北側の水準点で－0.3cm、南側で－0.7cmと報告されており、誤差範囲内で一致しているといえる。

今回、水準測量値が報告されている能登半島西岸の路線では、海岸近くに設置されている一等水準点はその約4割である。そこでこれらの水準点の値を今回の生物指標により求めた値と比較したところ、長手島(1)の北、大島(2)では生物指標から+1～+4cm、そのすぐ北の弁天島(3)では0～+4cm、水準測量からは+0.1～－1.0cmであった。その北側では路線は内陸部を通るが、志賀町富来七海付近では海岸部を通る。この付近の設定点である七海(8)、富来(9)では測定数は少ないものの、生物指標から+4cm、+5cmの隆起、水準測量からは+6.0～+8.3cmの隆起となっている。路線は再び内陸を通り、輪島市門前町剣地の南から門前町黒島町付近までは海岸沿いを通っている。この区間には剣地(14)、腰細^{こしほそ}(15)、赤神(16)、黒島(17)の4つの設定点および5つの水準点がある。生物指標から求めた隆起量は、剣地(14)で+33～+40cm、腰細(15)で+37～+38cm、赤神(16)で+35～+39cm、黒島(17)で+23～+35cmであった。水準測量からは、剣地(14)の南で+38.4cm、剣地(14)近傍で+37.0cm、赤神(16)の北で+41.1cm、赤神(16)と黒島(17)の中間で+31.8cm、黒島(17)の南で+25.2cmの隆起であった。この区間は、震源域上に位置し、倒壊家屋が多数分布し、非常に強い地震動が襲ったと推定される地区である。このため、港の岸壁もかなり破損・変位しているものが認められた。生物指標による測定はできうる限り破損・変位している地点を避け行っているが、測定値が他の地点に比べややばらつく傾向にあった。特に黒島(17)では岸壁が破損・変形している所が多くあり（写真9）、測定値も+23～+35cmと他の地点に比べばらついており、測定時に変位・変形した岸壁を除ききれなかった可能性がある。全体としては生物指標により求めた変位量と水準測量によって求めた変位量はよく一致して



図2. 生物指標による隆起・沈降量の測定地点と変動量, および国土地理院が地震後行った水準測量結果 (速報値: 国土地理院, 2007). F14~16断層は片川ほか (2005) に, 震央位置は気象庁 (2007 a) に基づく.

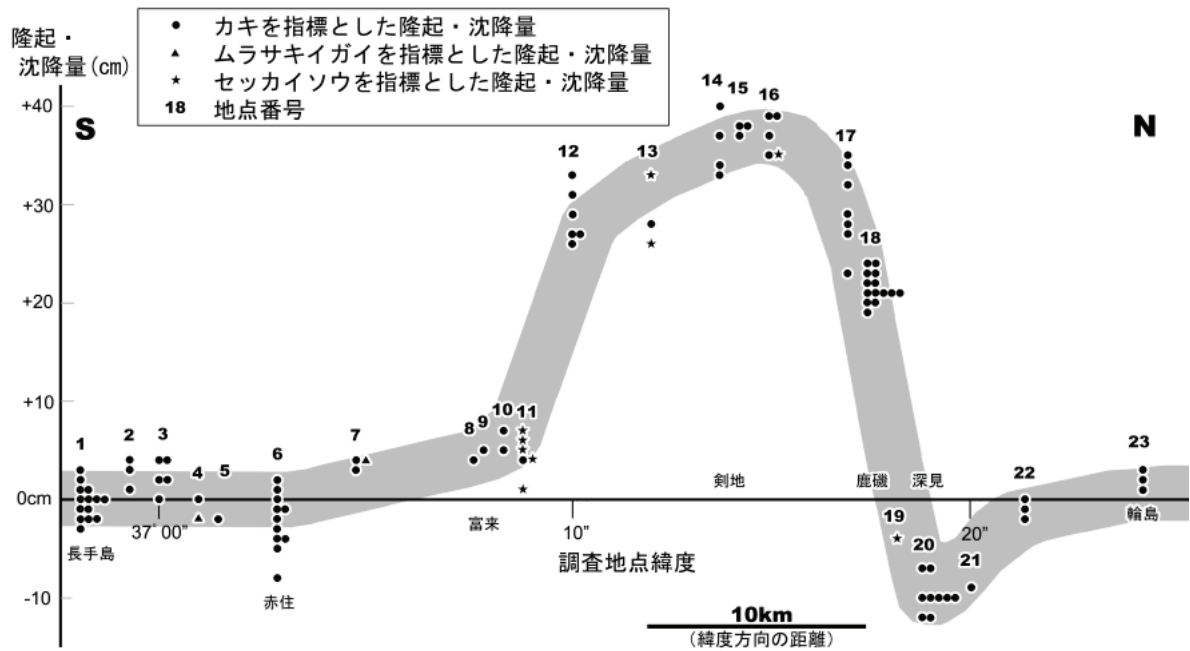


図3. カキ、ムラサキイガイ、セッカイソウを指標として求められた能登半島地震による隆起・沈降量。横軸は測定地点の緯度、縦軸は隆起・沈降量 (cm) を示す。

いるといえる。以上の結果からすると、生物指標による隆起量の推定は、 ± 5 cm程度の十分な精度があり、数10km離れた地点でも比較可能であるといえる。

次に海岸から離れて設置されている水準点の値と生物指標による海岸部での値とを比較した。水準路線が海岸から離れたところにある測定点は、志賀町中部の上野(4)～福浦(7)、志賀町北部の風無(10)～前波(13)および輪島市の鹿磯(18)～皆月(22)である。上野(4)～福浦(7)では赤住(6)において測定値がややばらつくものの、海岸から3～5 km東側に設置されている水準点の変位量と誤差範囲内で一致していた。志賀町北部の風無(10)～前波(13)では南部の風無(10)、千浦(11)では+1～+7cmの隆起であるのに対し、その北側の赤崎(12)、前波(13)で+26～+33cmと隆起量が急激に大きくなっている。海岸から3～4 km東側の水準点の変動量と比べても赤崎(12)の値がやや大きくなっている。平松(2007)は南東に傾斜する余震分布に共役な北西に傾斜する余震分布を明らかにしており、千浦(11)から赤崎(12)にかけての隆起量の急激な変化はこれと関係しているかもしれない。

輪島市門前町道下より北側の鹿磯(18)～皆月(22)では、変位量が隆起から沈降へと大きく変化している。鹿磯(18)での隆起量+19～+24cmはその南側の剣地(14)～黒島(17)の+23～+40cmに比べ、やや小さくなり、鹿磯(18)の北約1 kmに位置する深見南(19)では-4cmと沈降を示している。さらにその北0.5kmの深見(20)では-7～-12cmと調査範囲の中で最大の沈降量を示した。沈降量は吉浦(21)でも-9cmと明瞭な沈降を示したが、その北東の皆月(22)では-2～0 cmとほとんど変位していなかった。以上のような地殻変動からすると、今回の地震を引き起こした震源断層が門前町鹿磯付近に達しているという推定が生物指標による測定により裏付けられたものといえる。一方内陸部を通る水準点では、このような明瞭な沈降域は見出されておらず、震源断層は半島内部までは到達していないと推定される。

7. まとめ

今回、おもにカキの付着上限を示標として、能登半島地震に伴う海岸部での隆起・沈降量の測定を行った。測定は4月7～8日、23～24日および6月28日の5日間にわたって行った。測定範囲は震源域を挟み、北は輪島市輪島崎町の輪島港から南は羽咋市柴垣町長手島にある柴垣漁港までの南北約50kmの範囲であり、小さな漁港を中心に23地点で測定を行った。より高い精度で変位量を推定するために、生物指標の選択、波の影響の除去、潮汐の補正等の検討を行った。この手法により求めた隆起・沈降量を、国土地理院が地震後行った水準測量結果と比べたところ、 ± 5 cm程度の精度で隆起量を求めることが可能であることが明らかとなった。

この地震により10cmを超える明確な隆起が認められたのは輪島市門前町鹿磯から志賀町赤崎付近までの南北15kmの範囲であり、最大で約40cmの隆起となっていた。また門前町鹿磯から深見では、隆起域から沈降域へと急激に変化しており、今回の地震を引き起こした震源断層が鹿磯付近に延びている可能性が高いことが明らかとなった。

地震に伴う地殻の隆起・沈降量の測定では、水準点の再計測が最も正確なものと考えられる。しかし水準測量ではあらかじめ水準点が設置され、事前に計測されている地点のみしか、変動量を知ることができない。これに対し生物指標による測定では、精度が ± 5 cm程度と水準測量に比べ良くないものの、測定に適した地点があれば基準点の設置や事前の計測等は不要であり、短時間に広範囲の測定が可能である。このように生物指標による隆起・沈降量の測定は、地震時の地殻変動量を早期に明らかにする上で一つの有力な手法になりうると考えている。

能登半島地震発生から4ヶ月も経たない7月16日10時13分、新潟県上中越沖の深さ17kmを震源とするマグニチュード6.8の地震（平成19年（2007年）新潟県中越沖地震）が発生した（気象庁2007b）。この地震による海岸部での隆起・沈降量を同様にカキの付着上限を示標として、7月31日～8月1日の2日間にわたり7地点で測定を行った。測定の結果、寺泊港を不動点とすると、出雲崎港周辺で $+6 \sim +11$ cm、石地漁港で $+12 \sim +15$ cm、椎谷漁港で $+15 \sim +19$ cm、柏崎港で $-7 \sim -12$ cm、鯨波で $-5 \sim -8$ cm、笠島で $-4 \sim -7$ cmという上下変動量が求められた。今回、基準となる寺泊港における測定が、潮位との関係でカキの付着上限が海面下となってしまう、精度にやや問題はあものの、この生物指標による測定が海岸部での地殻変動をすばやく調べる手法として有効であることが裏付けられた。

謝辞：本研究を進めるにあたり、福井大学地学教室の高村元悠君、本多 祥君には隆起量の測定等を手伝ってもらった。福井大学教育地域科学部の服部 勇教授、中島正志教授、藤井純子助手には有益な助言・情報を頂くとともに、簡易海面測定装置の製作を手伝ってもらった。記してお礼申し上げる。

引用文献

- 茅根 創・山室真澄・松本英二（1987）房総半島南東岸における旧汀線の指標としてのヤッコカンザシ。第四紀研究，vol.26，p.47－57。
- 平松良浩（2007）平成19年能登半島地震：地震活動とメカニズム。地球科学，vol.61，p.243－253。
- 鮎野義夫（1993）石川県地質図および同説明書。石川県・北陸地質研究所，321p。
- 片川秀基・浜田昌明・吉田 進・廉澤 宏・三橋 明・河野芳輝・衣笠善博（2005）能登半島西方海域の新第三紀～第四紀地質構造形成。地学雑誌，vol.114，p.791－810。
- 活断層研究会編（1991）新編 日本の活断層—分布と資料—。東京大学出版会，437p。
- 活断層研究会編（1992）日本の活断層図—地図と解説。東京大学出版会，74p。
- 気象庁（2007a）災害時地震・津波速報 平成19年（2007年）能登半島地震。気象庁災害時自然現象報告書 2007年 第1号，41p。
- 気象庁（2007b）災害時地震・津波速報 平成19年（2007年）新潟県中越沖地震。気象庁災害時自然現象報告書 2007年 第3号，57p。

- 小池一之・町田 洋 (2001) 日本の海成段丘アトラス. 東京大学出版会, 105p.
- 国土地理院 (2007) 平成19年 (2007年) 能登半島地震関連. (<http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/isikawa/index.html>).
- 西畑正文・山室真澄・茅根 創 (1988) 三浦半島西岸および南岸における旧汀線の指標としてのヤッコカンザシとベンチ. 第四紀研究, vol.27, p.31-38.
- 岡村行信 (2007 a) 能登半島西方海底地質図および同説明書. 地質調査総合センター, 印刷中.
- 岡村行信 (2007 b) 能登半島周辺の地質構造と地震との関係. AFRC News, no.66, p.1-3.
- 太田陽子・平川一臣 (1979) 能登半島の海成段丘のその変形. 地理学評論, vol.52, p.169-189.
- 太田陽子・松田時彦・平川一臣 (1976) 能登半島の活断層. 第四紀研究, vol.15, p.109-128.
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター (編) (2005) 20万分の1日本シームレス地質図データベース 2005年12月8日版. 産業技術総合研究所研究情報公開データベースDB084, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 下川浩一・佃 栄吉・山崎晴雄・水野清秀・奥村晃史・衣笠善博・疋田吉識 (1994) 平成5年北海道南西沖地震に伴う奥尻島の地殻変動—海浜生物指標による計測—. 地震予知連絡会会報, vol.51, p.81-85.
- 消防庁 (2007) 平成19年 (2007年) 能登半島地震 (第46報). 総務省消防庁 (<http://www.fdma.go.jp/detail/710.html>).